



© Н. Б. Панкова, М. Ю. Карганов

DOI: [10.15293/2226-3365.1701.12](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1701.12)

УДК 612.1 + 57.026

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МОСКОВСКИХ ПЕРВОКЛАССНИКОВ И ИХ СВЕРСТНИКОВ В 2002–2003 ГОДАХ

Н. Б. Панкова, М. Ю. Карганов (Москва, Россия)

Проблема и цель. Мониторинговые медико-биологические исследования свидетельствуют о том, что в последние десятилетия происходят существенные изменения функционального состояния организма детей и подростков. Целью данной работы стало сравнительное исследование функциональных показателей детей, поступивших на обучение в начальную школу (конец сентября) в 2002–2003 и 2014 гг. в Москве.

Методология. В работе использованы данные антропометрии (длина и масса тела), а также параметры сердечно-сосудистой системы, полученные методом спиреокардиографии: спектральные показатели вариабельности сердечного ритма, показатели сердечной производительности, величина чувствительности спонтанного артериального барорефлекса.

Результаты. Показано, что за оцениваемый период несколько снизился возраст поступления в школу, не изменились данные о длине тела, но возросли показатели массы тела и индекса массы тела. При этом отмечено снижение величин ударного объёма сердца и минутного объёма кровообращения при постоянстве частоты сердечных сокращений. Оценка параметров вариабельности сердечного ритма показала, что в 2014 г. общая мощность спектра осталась на уровне 2002–2003 гг., но произошло перераспределение мощности отдельных диапазонов. Отмечено возрастание абсолютной мощности диапазонов LF и VLF, изменения мощности диапазона HF уровня статистической значимости не достигли. В относительных величинах отмечено возрастание мощности диапазона LF, с соответствующим возрастанием индекса LF/HF. Проведённая одновременно прямая и непрямая оценка величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса не выявила динамики данного показателя.

Заключение. Предполагается, что возрастание абсолютной и относительной мощности диапазона LF при неизменности мощности диапазона HF и величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса может быть связано с изменением функционального состояния вазомоторной регуляции – усилением симпатической составляющей в регуляции

Панкова Наталия Борисовна – доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии.

E-mail: nbpankova@gmail.com

Карганов Михаил Юрьевич – доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии.

E-mail: mkarganov@mail.ru



сердечно-сосудистой системы, произошедшем в организме первоклассников за оцениваемый период. Выявленные сдвиги в функциональном состоянии организма первоклассников могут быть интерпретированы как адаптивный ответ на изменившиеся условия жизни у современных детей.

Ключевые слова: ИМТ, ударный объём сердца, вариабельность сердечного ритма, мощность диапазона LF, отношение LF/HF, дети, адаптация.

В основе современной физиологии лежит постулат о том, что способом и результатом взаимодействия организма человека с внешней средой является адаптация [1]. Мы приспосабливаемся к тем условиям жизни, в которых нам посчастливилось жить, соответственно, требования среды определяют направление адаптивных изменений. Технологизация и компьютеризация современной жизни делает неактуальным хорошие силовые качества и выносливость, гораздо большее значение стали играть быстрота реакции и ловкость. Впервые снижение функциональных показателей городских детей (жизненная ёмкость лёгких, динамометрическая сила кистей рук) было выявлено в Ульяновской области [2], и затем подтверждено в последующих исследованиях на выборках московского региона [3–4]. В современных условиях снижение выносливости отмечается уже при переходе от среднего к высшему образованию [5]. Предполагается, что причиной снижения функциональных показателей детей и подростков служит изменение их образа и стиля жизни, в частности – ограничение времени и интенсивности (по многим причинам) двигательной активности.

Целью данной работы стало сравнительное (в интервале 2002–2014 гг.) исследование показателей сердечно-сосудистой системы у московских первоклассников в самом начале обучения в начальной школе.

Материалы и методы

В исследование включены материалы, полученные в ходе мониторинга 2002–2003 гг. (школа № 1357 г. Москвы, $n = 93$), 2014 г.

(школа № 1008 г. Москвы, $n = 89$), и 2016 г. (школа № 5 г. Реутов Московской области, $n = 103$). В 2002–2003 и в 2014 гг. обследования первоклассников проводили в конце сентября – начале октября. В 2016 г. одних и тех же детей тестировали в апреле (завершение первого класса) и в конце сентября (начало второго класса). Всего в статистический анализ были взяты результаты 285 детей в возрасте 7–8 лет.

Все исследования, в соответствии со ст. 5, 6 и 7 «Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека», проводились только с согласия учащихся и их родителей (или законных представителей).

Измерения длины и массы тела детей проводили по стандартным гигиеническим правилам (точность измерения для длины тела составляла $\pm 0,5$ см, для массы тела ± 100 г), с последующим расчётом ИМТ ($\text{ИМТ} = \text{масса (кг)} / \text{длина тела}^2 (\text{м}^2)$).

Показатели сердечно-сосудистой системы регистрировали при помощи приборного комплекса «спироартериокардиоритмограф» (САКР). Данный прибор позволяет проводить одновременную непрерывную запись показателей дыхания, артериального давления (АД) в пальце, и ЭКГ в первом стандартном отведении с последующим расчётом показателей вариабельности сердечного ритма (СР), показателей сердечной производительности (на основании данных усреднённого сердечного комплекса), и чувствительности спонтанного артериального барорефлекса (ЧБР) [6–7]. В нашей работе использованы записи длительностью две минуты, в положении сидя, без оценки показателей дыхания (без надевания

спирометрической маски, поскольку данная процедура является функциональной нагрузочной пробой [8]).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета *Statistica 7.0* (*StatSoft*).

Результаты и их обсуждение

Антропометрические показатели. Проведённые исследования показали, что в 2014 г.

в московские школы стали поступать дети более раннего возраста, по сравнению с 2002 г. (табл. 1). При этом различий между выборками по длине тела мы не выявили, тогда как по массе тела, и, соответственно, по величине ИМТ, отмечено статистически значимое возрастание (табл. 1, рис. 1А), особенно тревожное с учётом более раннего возраста первоклассников в 2014 г.

Таблица 1

Показатели возраста, индекса массы тела (ИМТ) и распределения детей в выборках первоклассников-москвичей в зависимости от величины ИМТ (число и %)

Table 1

Indicators age, body mass index (BMI) and the distribution of samples in the first grade children Moscovite depending on the BMI (number and %)

Период	2002 (n = 83)	2014 (n = 89)	p (критерий)	2016 (в) (n = 98)	2016 (о) (n = 99)
Возраст: M ± SE	7,35 ± 0,05	7,15 ± 0,03	< 0,001 (M-U)	7,75 ± 0,04	8,18 ± 0,04
ИМТ: Me; SD	15,39; 2,02	16,67; 2,56	0,010 (M-U)	16,22; 3,13*	17,29; 3,16*
ИМТ < 14,32	10 (12 %)	10 (11 %)	0,999 (chi-square)	6 (6 %)	14 (14 %)
14,32 ≤ ИМТ < 19,00	68 (82 %)	67 (75 %)	0,354 (chi-square)	71 (72 %)	58 (59 %)*
ИМТ ≥ 19,00	5 (6 %)	12 (13 %)	0,127 (chi-square)	21 (21 %)*	27 (27 %)*

Примечание. Статистические отличия (по критерию Манна–Уитни и по точному методу Фишера – двустороннему критерию хи-квадрат) указаны от выборки 2002–2003 гг. (выборка здесь и на рисунках обозначена как «2002»). Группа учащихся первого класса г. Реутов Московской области, обследованных в апреле (конец учебного года), обозначена «2016 (в)»; эта же группа в обследовании в начале второго класса обозначена «2016 (о)». Статистическая значимость отличий выборок 2016 г. от 2002 г. ($p < 0,05$) обозначена звёздочкой

Note. Statistical differences (by using the criterion of Mann–Whitney and Fisher's exact method – two-tailed chi-square) shown in compare with the sample 2002–2003 (the sample here and on figures herein designated as "2002"). Group of pupils of 1st class from City Reutov (Moscow region) surveyed in April (the end of the school year), designated "2016 (в)"; the same group in the survey at the beginning of the 2nd class is designated "2016 (о)." The statistical significance of differences between samples from 2016 in 2002 ($p < 0,05$) is indicated with an asterisk

Ранее мы показали [9], что выборки ИМТ у детей 7–8 лет не подчиняются законам нормального распределения, поэтому для статистического анализа и представления данных

мы рассчитывали медиану (*Me*), стандартное отклонение (*SD*), квартили (*Q1* и *Q3*), и использовали непараметрические критерии. В настоящем исследовании выявлено, что в 2014 г.

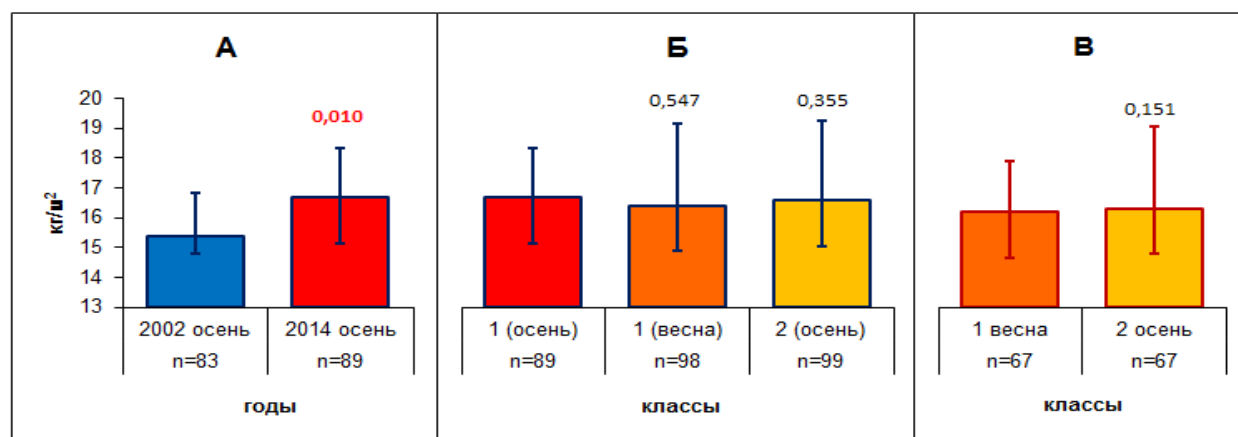


Рис. 1. Величины ИМТ у детей из разных выборок (столбики – Me, планка погрешностей – Q1, Q3)

Fig. 1. The values of BMI in children from different samples (bars – Me, the error bars – Q1, Q3)

Примечание. А – сравнение выборок 2002–2003 и 2014 гг. (конец сентября). Б – сравнение выборок 2014–2016 гг. (динамика «начало первого класса – конец первого класса – начало второго класса», независимые выборки). В – сравнение результатов детей из одной выборки 2016 г. (повторные измерения, связанные выборки). Числами обозначен уровень статистической значимости отличий от первой группы на каждом рисунке (А и Б – по критерию Манна–Уитни, В – по парному критерию Вилкоксона).

Note. A – Comparison of samples 2002-2003 and 2014 (end of September). Б – Comparison of 2014-2016 sample period (the dynamics of "the beginning of the first class – the end of the first class – the beginning of the second class," independent samples). В – Comparison of the results of children from one sample in 2016 (repeated measurements related sample). The numbers indicated by the level of statistical significance of differences between group 1 on each figure (A and Б – on the criterion of Mann-Whitney U, В – for pairwise Wilcoxon test).

у первоклассников Москвы медиана значений ИМТ оказалась существенно выше не только по сравнению с выборкой 2002–2003 гг., но и выше величин, рекомендованных ВОЗ в 2007 г.¹. Поэтому для нормирования величин ИМТ мы воспользовались нашими более ранними данными, полученными на выборке школьников Москвы 7–8 лет, $n = 627$ [9]. Согласно рекомендациями ВОЗ для детей от 5 до 19 лет [10], нормальные величины ИМТ лежат в диапазоне от $Me - 1SD$ до $Me + 1SD$, где Me – медиана, SD – стандартное отклонение анализируемой выборки. В цитируемом исследовании медиана составила $16,35 \text{ кг/м}^2$, границей между низким и средним значением ИМТ стала величина $14,32 \text{ кг/м}^2$, границей между

средними и высокими значениями ИМТ – $19,00 \text{ кг/м}^2$. В настоящем исследовании у первоклассников 2002–2003 гг. медиана величин ИМТ составила $15,39 \text{ кг/м}^2$, у их сверстников в 2014 г. – $16,67 \text{ кг/м}^2$. В последующих наблюдениях статистически значимых изменений медианы ИМТ не выявлено, ни при анализе независимых выборок (рис. 1Б), ни при анализе связанных переменных при повторных измерениях детей одной выборки (рис. 1В).

При этом важно, что доли детей в разных подгруппах (выше нормы – норма – ниже нормы) в начале первого класса с 2002 по 2014 гг. не изменились (табл. 1). Это означает, что перераспределение выборки в сторону

¹ BMI-for-age. – URL: <http://www.who.int/growthref/en/> (дата обращения: 02.12.2016)

преобладания детей с более высокими величинами массы тела в начале школьного обучения происходит внутри диапазона нормы, это скрытые (латентные) сдвиги. Но уже к концу первого класса и особенно в начале второго класса доля детей с оценкой ИМТ «выше нормы» возрастает существенно ($p = 0,005$ и $p = 0,001$ по двустороннему критерию Фишера при сравнении с 2002 г.).

Показатели сердечной производительности. Обычно для оценки ударного объёма сердца (УО) используют различные методы, основанные на принципе Фика (1870 г.). Данный принцип применим не только к собственному кислороду, но и двуокиси углерода (на чём основан метод возвратного дыхания углекислотой) или любым другим газом [11–12]. При работе с детьми более приемлемы неинвазивные способы определения УО, основанные на формуле Кубичека [13]. Эта формула была разработана для импедансной кар-

диографии и связывает величину УО с параметрами пульсовой волны. Данный подход используется приборами типа *Finometer* [14–15]. Наш прибор использует алгоритм расчёта УО по параметрам электрической систолы, валидность которого доказана ранее [16].

Оценка распределения величин УО показала, что выборка не подчиняется законам нормального распределения (по критерию Шапиро–Вилкса, рекомендуемого для больших выборок: $n = 179$, $W = 0,984$, $p = 0,038$). В соответствии с полученными результатами, для оценки динамики величины УО мы использовали непараметрические критерии для независимых (Манн–Уитни) и связанных (Вилкоксона) переменных. Выявлено, что с 2002 по 2014 гг. у московских школьников произошло статистически значимое снижение величины УО (рис. 2А), подтверждаемое результатами обследования учащихся Подмос-

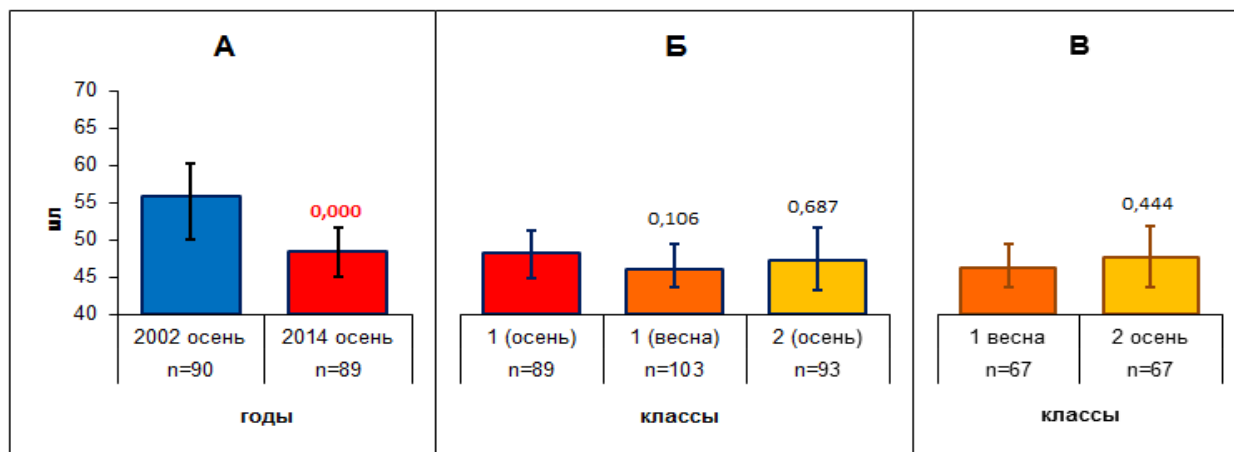


Рис. 2. Величина ударного объёма сердца у детей из разных выборок

Fig. 2. The value of cardiac stroke volume in children from different samples

Примечание. Обозначения для А, Б и В как на рис. 1.

Note. Designations as in Fig. 1.

При этом частота сердечных сокращений в обеих точках тестирования существенно не изменялась, и составляла $98,5 \pm 1,5$ уд./мин в 2002–2003 гг. и $95,5 \pm 1,3$ уд./мин в 2014 г.

($p = 0,239$ по критерию Манна–Уитни). Соответственно, у детей выявлено значимое снижение ещё одного показателя сердечной производи-

тельности – минутного объёма кровообращения, от $5,4 \pm 0,1$ л/мин в 2002 г. до $4,6 \pm 0,1$ л/мин в 2014 г. ($p < 0,001$ по критерию Манна–Уитни). В 2016 г. в конце первого класса данный показатель составил $4,7 \pm 0,1$ л/мин, в начале второго класса – $4,8 \pm 0,1$ л/мин, что согласуется с онтогенетической динамикой возрастания параметров сердечной производительности.

Параметры вариабельности сердечного ритма. Известно, что распределения длительности межсистолических интервалов и спектральных показателей вариабельности СР соответствуют не нормальному, а лог-нормальному виду [17]. В соответствии с этим в большинстве зарубежных публикаций такие данные приводятся в виде натурального логарифма оцениваемых величин, и используются параметрические методы их статистической обработки. В отечественных же публикациях используются нативные величины, поэтому, для сравнимости полученных нами данных с результатами мониторинговых исследований в Российской Федерации, мы также приводим

результаты в исходном виде, с использованием непараметрических алгоритмов статистического анализа.

Выявлено, что с 2002 по 2014 гг. у детей 7–8 лет не произошло изменений суммарной мощности спектра вариабельности СР, однако изменения выявлены в величинах мощности отдельных диапазонов в абсолютных величинах (мс^2). Так, для диапазонов низких (*LF*) и очень низких (*VLF*) частот отмечено значимое возрастание (табл. 2). Однако длительность регистрации в две минуты не позволяет считать данные относительно диапазона *VLF* достаточно надёжными, поскольку для адекватной оценки данного диапазона длительность регистрации должна быть не менее пяти минут [18]. Снижение мощности диапазона высоких частот (*HF*) между 2002 и 2014 гг. уровня статистической значимости не достигло.

У школьников более старшего возраста в 2016 г. общая мощность спектра вариабельности СР также осталась неизменной, как и более высокие величины мощностей диапазонов *LF* и *VLF* (табл. 2). Однако мощность диапазона *HF* в конце первого класса и в начале

Таблица 2

Спектральные показатели вариабельности сердечного ритма у детей из разных выборок

Table 2

The spectral heart rate variability in children from different samples

Период	2002 (<i>n</i> = 93)	2014 (<i>n</i> = 88)	<i>p</i> (<i>M-U</i>)	2016 (в) (<i>n</i> = 98)	2016 (о) (<i>n</i> = 99)
<i>TP</i> , мс^2	2 850 (1 881, 5 405)	2 873 (2 119, 4 506)	0,880	2 640 (1 504, 4 702)	2 446 (1 415, 3 977)
<i>VLF</i> , мс^2	334 (177, 657)	655 (469, 1 153)	< 0,001	574 (294, 1 021)*	509 (283,893)*
<i>LF</i> , мс^2	722 (383, 1 211)	959 (578, 1 460)	0,011	891 (498, 1 412)*	935 (458, 1 666)*
<i>HF</i> , мс^2	1 490 (560, 3 652)	1 121 (612, 2 075)	0,177	694 (318, 1 378)*	658 (276, 1 265)*

Примечание. Статистические отличия (по критерию Манна–Уитни) указаны от выборки 2002 г., остальные обозначения даны как в табл. 1.

Note. Statistical differences (by Mann-Whitney test) are listed on the sample 2002. The remaining symbols as in Table. 1.

второго класса была существенно ниже, чем в начале первого класса, что соответствует выявленным нами ранее онтогенетическим закономерностям изменений спектральных показателей вариабельности СР [19]. Известно, что помимо абсолютной мощности различных диапазонов спектра вариабельности СР, дополнительной информативностью обладают также и их относительные и нормированные величины [20]. В нашей работе оказалось, что

от 2002 г. до 2014 г. относительная мощность диапазона LF у первоклассников в начале первого учебного года значимо возросла (рис. 3А), на фоне соответствующего снижения относительной мощности диапазона HF . В последующие сроки тестирования (конец первого класса, начало второго класса) выявлено дальнейшее возрастание величины $LF\%$ и снижение величины $HF\%$, что согласуется с нашими более ранними результатами [19].

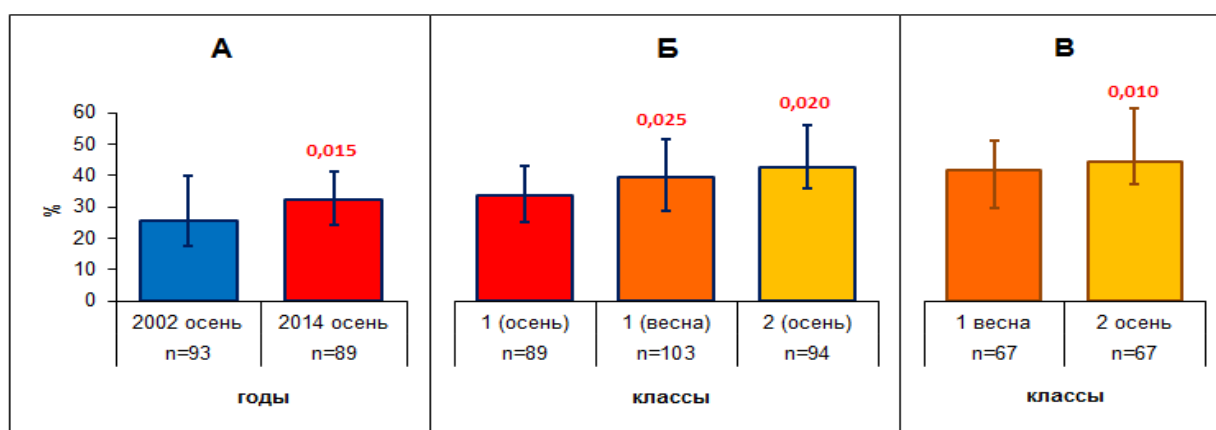


Рис. 3. Величина относительной мощности диапазона LF спектра вариабельности сердечного ритма у детей из разных выборок

Fig. 3. The value of the relative power range LF spectrum of heart rate variability in children from different samples

Примечание. Обозначения даны как на рис. 1.

Note. Designations as in Fig. 1.

Отношение LF/HF . В клинических и экспериментальных исследованиях, проводимых с использованием различных методов оценки вариабельности СР, принято использовать отношение LF/HF в качестве индекса вегетативного (автономного) баланса [18]. В нашей работе, на основании собственного опыта проведения мониторинговых и скрининговых исследований среди школьников²,

мы выделили три значимых диапазона величины индекса LF/HF : до 0,5 – условная ваго-tonия, от 0,5 до 2 – условная нормотония, выше 2 – условная симпатикотония.

Мы используем термин «условная», поскольку при оценке полученных результатов необходимо избегать прямолинейности, когда сам показатель LF/HF трактуется как вегетативный статус, величина отношения LF/HF

² Polysystemic approach to school, sport and environment medicine / Ed. M. Karganov. – OMICS Group eBooks,

2013. – URL: <http://esciencecentral.org/ebooks/polysystemic-approach/> (дата обращения 26.07.2016) DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/978-1-63278-000-3-001>

ниже единицы интерпретируется как ваготония, а выше единицы – как симпатикотония. Необходимо помнить, что вегетативный статус определяется не только и не столько показателями variability CP, для его диагностики необходимо комплексное неврологическое обследование. Кроме того, variability CP – феномен очень чувствительный не только к собственно вегетативному статусу человека, но и к условиям проведения тестирования: позе испытуемого и его предыдущей активности (принятие пищи, физическая нагрузка, подъём или спуск по лестнице, эмоционально окрашенное общение с коллегами и т. д.), обстановке медицинского кабинета, внешнему облику медицинского работника и

т. д. [21]. В каждом конкретном случае происходит суперпозиция конституциональных и ситуативных влияний на variability CP, причём ситуационные факторы часто оказываются более сильными, чем статусные. Именно поэтому данный показатель столь эффективен для характеристики и отслеживания динамики различных состояний у спортсменов [22; 23].

В нашем исследовании ожидаемо на основании данных об относительной мощности диапазона LF , выявлено значимое возрастание индекса LF/HF от 2002 г. к 2014 г. (рис. 4А). В ряду «начало первого класса – конец первого класса – начало второго класса» также отмечена значимая положительная динамика (рис. 4Б, 4В), согласующаяся с нашими более ранними результатами [19].

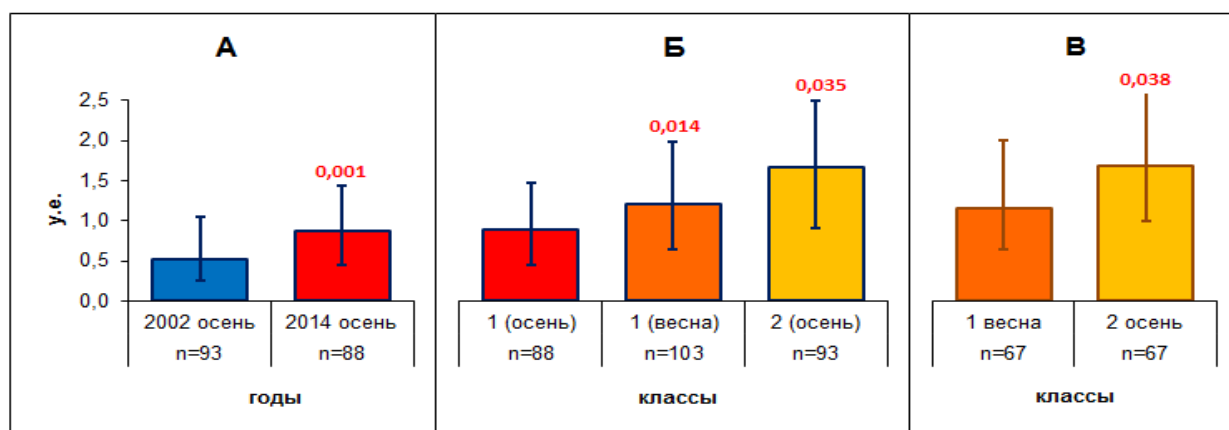


Рис. 4. Величина отношения LF/HF у детей из разных выборок

Fig. 4. The value of LF / HF ratio in children from different samples

Примечание. Обозначения даны как на рис. 1.

Note. Designations as in Fig. 1.

При разделении детей на группы в соответствии с величиной индекса LF/HF оказалось, что от 2002 г. к 2014 г. значимо снижается доля детей с условной ваготонией за счёт возрастания группы условной нормотонии, тогда как представленность группы условной симпатикотонии не изменяется (табл. 3). У бо-

лее старших детей в 2016 г. продолжается тенденция к сокращению представленности группы условной ваготонии, и начинает увеличиваться группа условной симпатикотонии, что в целом соответствует возрастным закономерностям функционального созревания автономной регуляции.



Таблица 3

Распределения детей в выборках первоклассников-москвичей в зависимости от величины отношения LF/HF (число и %)

Table 3

Children distribution in samples of Moscovite first grade pupils as a function of LF / HF ratio (number and %)

Период	2002 (n = 93)	2014 (n = 88)	p (chi-square)	2016 (в) (n = 103)	2016 (о) (n = 99)
LF/HF < 0,5	44 (47 %)	24 (27 %)	0,006	16 (16 %)*	11 (11 %)*
0,5 ≤ LF/HF < 2,0	40 (43 %)	51 (58 %)	0,053	65 (63 %)*	50 (51 %)
LF/HF ≥ 2,0	9 (10 %)	13 (15 %)	0,364	22 (21 %)*	38 (38 %)*

Примечание. Статистические отличия (по точному методу Фишера – двустороннему критерию хи-квадрат) указаны от выборки 2002. Остальные обозначения даны как в табл. 1.

Note. Statistical differences (by Fisher's exact test – two-tailed chi-square) shown on the sample 2002. The remaining symbols as in Table. 1.

Известно, что показатели вариабельности СР, особенно в прикладных исследованиях, подвергаются различным видам количественных и качественных преобразований [24], позволяющих сделать заключение об их обусловленности тем или иным физиологическим феноменом. Однако при интерпретации получаемых данных следует учитывать несколько критичных положений.

Во-первых, на интерпретацию результатов оценки вариабельности СР оказывает влияние метод их оценки. Принято, что СР является псевдостационарным процессом, и использование линейных методов его математической обработки, в том числе преобразования Фурье, достаточно условно [25]. Наличие же неритмических влияний на СР требует использования и нелинейных методов анализа данных³ [26–29]. Тем более что оценка параметров вариабельности СР интересна не

только в спокойном состоянии, но и как индикатор динамических процессов, протекающих в организме в ответ на внешний или внутренний стимул. Например, при проведении функциональных нагрузочных проб или в условиях действия различных стрессогенных факторов [30–33]. Однако широкое и повсеместное использование показателей вариабельности СР в гигиенических исследованиях [31; 34] и мониторингах функционального состояния организма представителей разных групп населения⁴ [35–37] допускает применение линейных методов обработки показателей вариабельности СР при регистрации ЭКГ в спокойном состоянии.

Во-вторых, еще нет однозначного толкования физиологического содержания разных показателей вариабельности СР. Рекомендации международного сообщества кардиологов 1996 г. [18], основанные на масштабных результатах клинических и экспериментальных

³ Conte E., Federici A., Zbilut J. P. An Application of Chaos Theory for Estimation of Simultaneous Variability of RR-intervals in Heart and Systolic Blood Pressure in Humans. – 2008. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0810/0810.4090.pdf> (дата обращения 07.12.2016)

⁴ Polysystemic approach to school, sport and environment medicine / Ed. M. Karganov. – OMICS Group eBooks, 2013. – URL: <http://esciencecentral.org/ebooks/polysystemic-approach/> (дата обращения 26.07.2016) DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/978-1-63278-000-3-001>

исследований, предполагали следующий подход к интерпретации вариабельности СР. Мощность диапазона *HF* в основном отражает парасимпатические (вагусные) влияния на СР. В интерпретации диапазона *LF* существуют разночтения: одни авторы связывают данный показатель с активностью симпатического звена автономной регуляции СР (группа *M. Pagani* [38]), при этом отношение *LF/HF* расценивается как «зеркало» автономного баланса. Другие авторы предполагают участие в формировании данного диапазона и вагусных влияний (*G. Billman* и др. [39]).

Экспериментальные и клинические данные последних лет свидетельствуют о том, что диапазон *LF* включает преимущественно барорефлекторные влияния, передающиеся блуждающим нервом на волны Майера в АД, хотя осцилляции активности симпатического нерва также влияют на мощность частот около 0,1 Гц [20; 40]. Согласно концепции *S. Malpas*, в стволе головного мозга (*rostral ventrolateral medulla*) расположен генератор ритмической активности с этой частотой. Функционирование генератора ритмической активности модулируется под влиянием как центральных, так и периферических факторов, меняющих симпатическую активность в зависимости от афферентной импульсации [41]. По расчётам *G. Billman*, в формирование мощности диапазона *LF* 50 % вносит активность парасимпатической системы, 25 % – симпатическая активность, 25 % – другие факторы; мощность диапазона *HF* на 90 % обусловлена активностью вагуса, и на 10 % – активностью симпатического нерва [39]. Соответственно, отношение *LF/HF* не может служить количественной мерой автономного баланса. Вместе с тем дан-

ный показатель может служить хорошим маркером наличия изменений автономного баланса при проведении нагрузочной пробы [21; 32; 42–43].

Сложилось общее мнение, что вариабельность СР обусловлена активностью парасимпатического звена автономной регуляции [44], но это не означает, что разные диапазоны спектра вариабельности дают одну и ту же информацию. В формировании разных компонентов (диапазонов спектра) участвуют разные физиологические механизмы, и каждый компонент спектра вариабельности СР представляет информацию о различных физиологических механизмах автономной регуляции. Высокочастотные колебания диапазона *HF* отражают дыхательные влияния, низкочастотные колебания диапазона *LF* дают информацию о механизмах контроля АД, в том числе о вазомоторных модуляциях.

В данном контексте можно предположить, что выявленная нами динамика абсолютной и относительной мощности диапазона *LF* спектра вариабельности СР может быть обусловлена как сдвигами в функциональном состоянии вазомоторной регуляции, так и в параметрах барорефлексов.

Чувствительность спонтанного артериального барорефлекса (ЧБР). Величину чувствительности спонтанного артериального барорефлекса можно определять непосредственно, в моменты когерентности изменений СР и АД [45], либо нелинейными методами на основе оценки вариабельности СР и вариабельности систолического АД⁵ [46]. Прямая оценка величины ЧБР показала, что в период с 2002 г. по 2014 г. значимых изменений данного показателя не произошло: величины ЧБР

⁵ Conte E., Federici A., Zbilut J. P. An Application of Chaos Theory for Estimation of Simultaneous Variability of RR-intervals in Heart and Systolic Blood Pressure in Humans.

– 2008. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0810/0810.4090.pdf> (дата обращения 07.12.2016)



составили $16,6 \pm 1,3$ и $15,6 \pm 1,1$ мс/мм рт. ст. соответственно ($p = 0,669$ по критерию Манна–Уитни). Величины альфа-индекса для диапазона *LF* составили $12,7 \pm 1,1$ и $11,1 \pm 0,7$ мс/мм рт. ст. соответственно ($p = 0,609$), для диапазона *HF* – $20,7 \pm 3,4$ и $15,3 \pm 1,7$ мс/мм рт. ст. соответственно ($p = 0,503$). Поэтому логично предположить, что основной причиной выявленной динамики мощности диапазона *LF* в спектре вариабельности СР является изменение функционального состояния вазомоторной регуляции.

Заключение

Сравнительные исследования функционального состояния организма первоклассников московского региона, проведенные на одном оборудовании и одной группой исследователей, обнаружили, что в период с 2002 г. по 2014 г. произошли активные адаптивные процессы, которые нашли своё отражение, во-первых, в стационарных показателях, таких как индекс массы тела и ударный объём сердца. Во-вторых, в показателях, характеризующих уровень функциональной активности регуляторных систем. С большой вероятностью можно предполагать, что описанные из-

менения спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (возрастание абсолютной и относительной мощности диапазона *LF* при неизменности мощности диапазона *HF* и величины чувствительности спонтанного артериального барорефлекса) отражают сдвиги функционального состояния вазомоторной регуляции – усиление симпатической составляющей в регуляции сердечно-сосудистой системы.

Само по себе усиление симпатических влияний в организме первоклассников может отражать усиление стрессогенности среды, к которой адаптируются дети. Но нельзя забывать, что отличительной чертой детского организма является его развитие – рост и функциональное созревание большинства органов и систем. Ранее мы показали [20], что возрастание относительной мощности диапазона *LF* в спектре вариабельности сердечного ритма происходит как минимум с 6 до 15 лет. Возможно, в данном случае мы увидели сдвиг возрастных рамок в функциональном созревании регуляторных систем организма. Однако в любом случае, обнаруженные нами данные нуждаются в многократной проверке на другом оборудовании и на других выборках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н. А., Баевский Р. М., Берсенева А. П. Проблемы адаптации и учение о здоровье. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
2. Лёвушкин С. П. Динамика физического развития школьников Ульяновска области // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2005. – № 1. – С. 56–58.
3. Панкова Н. Б., Романов С. В., Архипова Е. Н., Афанасьева Е. В., Назаркина Н. И. Физиологические корреляты результатов тестирования физического развития пятиклассников-москвичей // Валеология. – 2009. – № 3. – С. 61–67.
4. Баранов А. А., Кучма В. Р., Скоблина Н. А., Милушкина О. Ю., Бокарева Н. А. Основные закономерности морфофункционального развития детей и подростков в современных условиях // Вестник РАМН. – 2012. – № 12. – С. 35–40.
5. Климов В. М., Айзман Р. И. Оценка физического здоровья выпускников школ, поступающих в вузы // Бюллетень сибирской медицины. – 2016. – Т. 15, № 3. – С. 41–47. DOI: <http://dx.doi.org/10.20538/1682-0363-2016-3-41-47>



6. **Панкова Н. Б., Лебедева М. А., Курнешова Л. Е., Пивоваров В. В., Карганов М. Ю.** Спироартериокардиоритмография – новый метод изучения состояния сердечно-сосудистой системы // Патогенез. – 2003. – Т. 1, № 2. – С. 84–88.
7. **Пуговкин А. П., Верлов Н. А., Еркудов В. О., Ланда С. Б., Попов В. В., Прийма Н. Ф., Лебедева М. А., Панкова Н. Б., Эйгель М. Я.** Неинвазивная оценка показателей системной гемодинамики по результатам исследования периферических сосудов // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2012. – № 4. – С. 75–79.
8. **Труханов А. И., Панкова Н. Б., Хлебникова Н. Н., Карганов М. Ю.** Использование метода спироартериокардиоритмографии в качестве функциональной пробы для оценки состояния кардио-респираторной системы взрослых и детей // Физиология человека. – 2007. – Т. 33, № 5. – С. 82–92.
9. **Панкова Н. Б., Лебедева М. А., Хлебникова Н. Н., Карганов М. Ю.** Взаимосвязь латентных периодов простой сенсомоторной реакции на световой стимул и индекса массы тела у детей 7-8 лет // Валеология. – 2015. – № 4. – С. 25–32.
10. **de Onis M., Onyango A. W., Borghi E., Siyam A., Nishida C., Siekmann J.** Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents // Bull. World Health Organ. – 2007. – Vol. 85, № 9. – P. 660–667.
11. **Ehlers K. C., Mylrea K. C., Waterson C. K., Calkins J. M.** Cardiac output measurements. A review of current techniques and research // Ann. Biomed. Eng. – 1986. – Vol. 14, № 3. – P. 219–239.
12. **Geerts B. F., Aarts L. P., Jansen J. R.** Methods in pharmacology: measurement of cardiac output // Br. J. Clin. Pharmacol. – 2011. – Vol. 71, № 3. – P. 316–330. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2125.2010.03798.x>
13. **Kubicek W. G., From A. H., Patterson R. P., Witsoe D. A., Castaneda A., Lillehei R. C., Ersek R.** Impedance cardiography as a noninvasive means to monitor cardiac function // J. Assoc. Adv. Med. Instrum. – 1970. – Vol. 4, № 2. – P. 724–732.
14. **Headley J. M.** Arterial pressure-based technologies: a new trend in cardiac output monitoring // Crit. Care Nurs. Clin. North. Am. – 2006. – Vol. 18, № 2. – P. 179–187. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccell.2006.01.004>
15. **Reisner A. T., Xu D., Ryan K. L., Convertino V. A., Rickards C. A., Mukkamala R.** Monitoring non-invasive cardiac output and stroke volume during experimental human hypovolaemia and resuscitation // Br. J. Anaesth. – 2011. – Vol. 106, № 1. – P. 23–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aeq295>
16. **Kim T. H., Hur J., Kim S. J., Kim H. S., Choi B. W., Choe K. O., Yoon Y. W., Kwon H. M.** Two-phase reconstruction for the assessment of left ventricular volume and function using retrospective ECG-gated MDCT: comparison with echocardiography // AJR Am. J. Roentgenol. – 2005. – Vol. 185, № 2. – P. 319–325. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.185.2.01850319>
17. **Kuo T. B., Lin T., Yang C. C., Li C. L., Chen C. F., Chou P.** Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate // Am. J. Physiol. – 1999. – Vol. 277, № 6, Pt 2. – P. H2233–H2239.
18. Heart rate variability / Standards of measurement. Physiological interpretation and clinical use // Eur. Heart Journal. – 1996. – Vol. 17. – P. 354–381.
19. **Панкова Н. Б.** Функциональное развитие вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы человека в онтогенезе // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2008. – Т. 94, № 3. – С. 267–275.



20. **Heathers J. A.** Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain HRV // *Front. Physiol.* – 2014. – Vol. 5. – № 177. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2014.00177>
21. **Perini R., Veicsteinas A.** Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2003. – Vol. 90, № 3-4. – P. 317–325. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-003-0953-9>
22. **Иванова Т. С., Захарьева Н. Н.** Специфика показателей сердечного ритма легкоатлетов с различной спортивной результативностью // *Теория и практика физической культуры.* – 2013. – № 2. – С. 22–26.
23. **Шлык Н. И.** Экспресс-оценка функциональной готовности организма спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности (по данным анализа вариабельности сердечного ритма) // *Наука и спорт: современные тенденции.* – 2015. – Т. 9, № 4. – С. 5–15.
24. **Bravi A., Longtin A., Seely A. J.** Review and classification of variability analysis techniques with clinical applications // *Biomed. Eng. Online.* – 2011. – Vol. 10. – № 90. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1475-925X-10-90>
25. **Mainardi L. T., Bianchi A. M., Cerutti S.** Time-frequency and time-varying analysis for assessing the dynamic responses of cardiovascular control // *Crit. Rev. Biomed. Eng.* – 2002. – Vol. 30, № 1-3. – P. 175–217.
26. **Perkiömäki J. S.** Heart rate variability and non-linear dynamics in risk stratification // *Front. Physiol.* – 2011. – Vol. 2. – № 81. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2011.00081>
27. **Francesco B., Maria Grazia B., Emanuele G., Valentina F., Sara C., Chiara F., Riccardo M., Francesco F.** Linear and nonlinear heart rate variability indexes in clinical practice // *Comput. Math. Methods Med.* – 2012. – Vol. 2012. – Article ID 219080. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/219080>
28. **Sassi R., Cerutti S., Lombardi F., Malik M., Huikuri H. V., Peng C. K., Schmidt G., Yamamoto Y.** Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society // *Europace.* – 2015. – Vol. 17, № 9. – P. 1341–1353. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/europace/euv015>
29. **Bond V. Jr., Curry B. H., Kumar K., Pemminati S., Gorantla V. R., Kadur K., Millis R. M.** Nonlinear Conte-Zbilut-Federici (CZF) Method of Computing LF/HF Ratio: A More Reliable Index of Changes in Heart Rate Variability // *J. Pharmacopuncture.* – 2016. – Vol. 19, № 3. – P. 207–212. DOI: <http://dx.doi.org/10.3831/KPI.2016.19.021>
30. **Montano N., Porta A., Cogliati C., Costantino G., Tobaldini E., Casali K. R., Iellamo F.** Heart rate variability explored in the frequency domain: a tool to investigate the link between heart and behavior // *Neurosci Biobehav Rev.* – 2009. – Vol. 33, № 2. – P. 71–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.07.006>
31. **Togo F., Takahashi M.** Heart rate variability in occupational health – a systematic review // *Ind. Health.* – 2009. – Vol. 47, № 6. – P. 589–602.
32. **Skibniewski F. W., Dziuda L., Baran P. M., Krej M. K., Guzowski S., Piotrowski M. A., Truszczyński O. E.** Preliminary Results of the LF/HF Ratio as an Indicator for Estimating Difficulty Level of Flight Tasks // *Aerosp. Med. Hum. Perform.* – 2015. – Vol. 86, № 6. – P. 518–523. DOI: <http://dx.doi.org/10.3357/AMHP.4087.2015>
33. **Dimitriev D. A., Saperova E. V., Dimitriev A. D.** State Anxiety and Nonlinear Dynamics of Heart Rate Variability in Students // *PLoS One.* – 2016. – Vol. 11, № 1. – e0146131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0146131>



34. **Мыльникова И. В., Ефимова Н. В.** Информативность показателей вариабельности сердечного ритма для выявления неблагоприятного влияния факторов окружающей среды на здоровье девушек // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 1. – С. 121–124.
35. **Баевский Р. М., Берсенев Е. Ю., Орлов О. И., Ушаков И. Б., Черникова А. Г.** Проблема оценки адаптационных возможностей человека в авиакосмической физиологии // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 1. – С. 95–107.
36. **Айзман Р. И., Айзман Н. И., Лебедев А. В., Рубанович В. Б., Трофимович Е. М., Турбинский В. В.** Методология и методика мониторинга здоровья населения с использованием тестовых нагрузок и компьютерных технологий // Медицина труда и экология человека. – 2015. – № 4. – С. 15–21.
37. **Климов В. М., Рубанович В. Б., Айзман Р. И.** Морфофункциональные показатели и физическая подготовленность студентов 1–2 курсов технического университета, занимающихся аэробикой // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2016. № 1 (29). – С. 109–120. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1601.10>
38. **Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Sandrone G., Rimoldi O., Malfatto G., Cerutti S., Malliani A.** Power spectral density of heart rate variability as an index of sympatho-vagal interaction in normal and hypertensive subjects // J. Hypertens. Suppl. – 1984. – Vol. 2, № 3. – S383–S385.
39. **Billman G. E.** The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance // Front Physiol. – 2013. – Vol. 4. – Article 26. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>
40. **Elghozi J. L., Julien C.** Sympathetic control of short-term heart rate variability and its pharmacological modulation // Fundam. Clin. Pharmacol. – 2007. – Vol. 21, № 4. – P. 337–347. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-8206.2007.00502.x>
41. **Malpas S. C.** Sympathetic nervous system overactivity and its role in the development of cardiovascular disease // Physiol. Rev. – 2010. – Vol. 90, № 2. – P. 513–557. DOI: <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00007.2009>
42. **Zaza A., Lombardi F.** Autonomic indexes based on the analysis of heart rate variability: a view from the sinus node // Cardiovasc. Res. – 2001. – Vol. 50, № 3. – P. 434–442.
43. **Панкова Н. Б.** Функциональные пробы для оценки состояния здоровых людей по вариабельности сердечного ритма // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2013. – Т. 99, № 6. – С. 682–696.
44. **Reyes del Paso G. A., Langewitz W., Mulder L. J., van Roon A., Duschek S.** The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies // Psychophysiology. – 2013. – Vol. 50, № 5. – P. 477–487. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12027>
45. **Parati G.** Arterial baroreflex control of heart rate: determining factors and methods to assess its spontaneous modulation // J. Physiol. – 2005. – Vol. 565, № 3. – P. 706–707. DOI: <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2005.086827>
46. **Rytlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadzieja L., Banasiak W., Jankowska E. A., Ponikowski P.** Ocena aktywności autonomicznego układu nerwowego związanej z odruchową regulacją układu sercowo-naczyniowego i oddychania // Kardiologia Polska. – 2010. – Vol. 68, № 8. – P. 951–957.



DOI: [10.15293/2226-3365.1701.12](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1701.12)

Nataliya B. Pankova, Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor, Leading Researcher of Laboratory of Physical, Chemical and Ecological Pathophysiology, Research Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3582-817X>

E-mail: nbpankova@gmail.com

Mikhail Yu. Karganov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Laboratory of Physical, Chemical and Ecological Pathophysiology, Research Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5862-8090>

E-mail: mkarganov@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS OF THE FUNCTIONAL STATE IN CONTEMPORARY MOSCOW FIRST-GRADERS AND THEIR PEERS IN 2002–2003

Abstract

Introduction. Medical and biological monitoring studies indicate that in the last decade, there are significant changes in the functional state of children's and adolescents' organisms. The aim of this work was a comparative study of the functional parameters of children came to study in the primary school (end of September) in 2002–2003 and 2014 in Moscow.

Materials and Methods. We used anthropometric data (body height and weight), and the parameters of the cardiovascular system, obtained with spiroarteriocardiorhythmographic method: spectral indices of heart rate variability, indicators of cardiac performance, the value of spontaneous arterial baroreflex sensitivity.

Results. It is shown that for the evaluated period entry age to school slightly decreased; the data on the length of the body did not change, but indicators of body weight and body mass index increased. At the same time the quantities *уа* cardiac stroke volume and minute volume of blood circulation at a constant heart rate decreased. Assessment of heart rate variability parameters showed that in 2014 the total spectrum power remained at the 2002-2003-s level, but there was a redistribution of separate power ranges. The research marked an increase in the absolute power of LF and VLF ranges, changes in HF band power didn't reach the level of statistical significance. The observed increase of LF power range was in relative terms, with a corresponding increase in LF/HF index. The performed both direct and indirect estimate of the sensitivity of spontaneous arterial baroreflex did not reveal the dynamics of this indicator.

Conclusions. It is proposed that the increase in absolute and relative power of the LF range at constant power HF range and value of spontaneous arterial baroreflex sensitivity may be due to changes in the functional state of vasomotor regulation – increased sympathetic component in the regulation of the cardiovascular system, which occurred in the body of the first-graders of the evaluated period. Identified changes in the functional state of an organism of first-graders can be interpreted as an adaptive response to the changing conditions of life of today's children.

Keywords

BMI; stroke volume; heart rate variability; LF-range power; LF/HF ratio; kids; adaptation.



REFERENCES

1. Agajanyan N. A., Baevskiy R. M., Berseneva A. P. *Problems of adaptation and learning about health*. Moscow, RUDN University Publ., 2006, 284 p. (In Russian)
2. Lyovushkin S. P. Dynamics of Physical Development of the Ulyanovsk region Schoolchildren. *Physical culture: upbringing, education, training*. 2005, no. 1, pp. 56–58. (In Russian)
3. Pankova N. B., Romanov S. V., Arkhipova E. N., Afanaseva E. V., Nazarkina N. I. Physiological Correlates of the Results of Physical Development Testing in Fifth-Graders Moscovities. *Journal of Health and Life Sciences*. 2009, no. 3, pp. 61–67. (In Russian)
4. Baranov A. A., Kuchma V. R., Skoblina N. A., Milushkina O. Ju., Bokareva N. A. The Main Mechanisms of Morphofunctional Development of Children and Adolescents in Modern Conditions. *Annals of the Russian academy of medical sciences*. 2012, no. 12, pp. 35–40. (In Russian)
5. Klimov V. M., Aizman R. I. Assessment of physical health of schools graduates going to the universities. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2016, vol. 15, no. 3, pp. 41–47. DOI: <http://dx.doi.org/10.20538/1682-0363-2016-3-41-47> (In Russian)
6. Pankova N. B., Lebedeva M. A., Kurneshova L. E., Pivovarov V. V., Karganov M. Yu. Spiroarteriocardiorhythmography – a new method for investigation of cardio-vascular system state. *Pathogenesis*. 2003, vol. 1, no. 2, pp. 84–88. (In Russian)
7. Pugovkin A. P., Verlov N. A., Yerkudov V. O., Landa S. B., Popov V. V., Priima N. F., Lebedeva M. A., Pankova N. B., Eygel M. Y. Non-invasive assessment of systemic hemodynamics study of peripheral vessels. *Pathological Physiology and experimental Therapy*. 2012, no. 4, pp. 75–79. (In Russian)
8. Trukhanov A. I., Pankova N. B., Khlebnikova N. N., Karganov M. Yu. The use of spiroarteriocardiorhythmography as a functional test for estimating the state of the cardiorespiratory system in adults and children. *Human Physiology*. 2007, vol. 33, no. 5, pp. 585–594. (In Russian)
9. Pankova N. B., Lebedeva M. A., Khlebnikova N. N., Karganov M. Yu. Relationship between latent periods of simple sensorimotor reaction to visual stimulus and body mass index in 7-8 years old children. *Journal of Health and Life Sciences*. 2015, no. 4, pp. 25–32. (In Russian)
10. de Onis M., Onyango A. W., Borghi E., Siyam A., Nishida C., Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bull. World Health Organ*. 2007, vol. 85, no. 9, pp. 660–667.
11. Ehlers K. C., Mylrea K. C., Waterson C. K., Calkins J. M. Cardiac output measurements. A review of current techniques and research. *Ann. Biomed. Eng.* 1986, vol. 14, no. 3, pp. 219–239.
12. Geerts B. F., Aarts L. P., Jansen J. R. Methods in pharmacology: measurement of cardiac output. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 2011, vol. 71, no. 3, pp. 316–330. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2125.2010.03798.x>
13. Kubicek W. G., From A. H., Patterson R. P., Witsoe D. A., Castaneda A., Lillehei R. C., Ersek R. Impedance cardiography as a noninvasive means to monitor cardiac function. *J. Assoc. Adv. Med. Instrum.* 1970, vol. 4, no. 2, pp. 724–732.
14. Headley J. M. Arterial pressure-based technologies: a new trend in cardiac output monitoring. *Crit. Care Nurs. Clin. North. Am.* 2006, vol. 18, no. 2, pp. 179–187. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccell.2006.01.004>
15. Reisner A. T., Xu D., Ryan K. L., Convertino V. A., Rickards C. A., Mukkamala R. Monitoring non-invasive cardiac output and stroke volume during experimental human hypovolaemia and resuscitation. *Br. J. Anaesth.* 2011, vol. 106, no. 1, pp. 23–30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/bja/aeq295>



16. Kim T. H., Hur J., Kim S. J., Kim H. S., Choi B. W., Choe K. O., Yoon Y. W., Kwon H. M. Two-phase reconstruction for the assessment of left ventricular volume and function using retrospective ECG-gated MDCT: comparison with echocardiography. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2005, vol. 185, no. 2, pp. 319–325. DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/ajr.185.2.01850319>
17. Kuo T. B., Lin T., Yang C. C., Li C. L., Chen C. F., Chou P. Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. *Am. J. Physiol.* 1999, vol. 277, no. 6, pt. 2, pp. H2233–H2239.
18. Heart rate variability / Standards of measurement. Physiological interpretation and clinical use. *Eur. Heart Journal.* 1996, vol. 17, pp. 354–381.
19. Pankova N. B. Functional development of vegetative regulation of the cardiovascular system in human ontogenesis. *Ross. Fiziol. Zh. Im. I.M.Sechenova.* 2008, vol. 94, no. 3, pp. 267–275. (In Russian)
20. Heathers J. A. Everything Hertz: methodological issues in short-term frequency-domain HRV. *Front. Physiol.* 2014, vol. 5, no. 177. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2014.00177>
21. Perini R., Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2003, vol. 90, no. 3-4, pp. 317–325. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-003-0953-9>
22. Ivanova T. S., Zakhar'eva N. N. Specifics of Cardiac Rate Indices of Athletes with Various Sports Performance. *Theory and Practice of Physical Culture.* 2013, no. 2, pp. 22–26. (In Russian)
23. Shlyk N. I. Rapid assessment operational readiness of sportsmen for training and competitive activities (based on analysis of heart rate variability). *Science and Sport: modern tendencies.* 2015, vol. 9, no. 4, pp. 5–15. (In Russian)
24. Bravi A., Longtin A., Seely A. J. Review and classification of variability analysis techniques with clinical applications. *Biomed. Eng. Online.* 2011, vol. 10, no. 90. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1475-925X-10-90>
25. Mainardi L. T., Bianchi A. M., Cerutti S. Time-frequency and time-varying analysis for assessing the dynamic responses of cardiovascular control. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 2002, vol. 30, no. 1-3, pp. 175–217.
26. Perkiömäki J. S. Heart rate variability and non-linear dynamics in risk stratification. *Front. Physiol.* 2011, vol. 2, no. 81. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2011.00081>
27. Francesco B., Maria Grazia B., Emanuele G., Valentina F., Sara C., Chiara F., Riccardo M., Francesco F. Linear and nonlinear heart rate variability indexes in clinical practice. *Comput. Math. Methods Med.* 2012, vol. 2012, Article ID 219080. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/219080>
28. Sassi R., Cerutti S., Lombardi F., Malik M., Huikuri H. V., Peng C. K., Schmidt G., Yamamoto Y. Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace.* 2015, vol. 17, no. 9, pp. 1341–1353. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/europace/euv015>
29. Bond V. Jr., Curry B. H., Kumar K., Pemminati S., Gorantla V. R., Kadur K., Millis R. M. Nonlinear Conte-Zbilut-Federici (CZF) Method of Computing LF/HF Ratio: A More Reliable Index of Changes in Heart Rate Variability. *J. Pharmacopuncture.* 2016, vol. 19, no. 3, pp. 207–212. DOI: <http://dx.doi.org/10.3831/KPI.2016.19.021>
30. Montano N., Porta A., Cogliati C., Costantino G., Tobaldini E., Casali K. R., Iellamo F. Heart rate variability explored in the frequency domain: a tool to investigate the link between heart and behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009, vol. 33, no. 2, pp. 71–80. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.07.006>
31. Togo F., Takahashi M. Heart rate variability in occupational health – a systematic review. *Ind. Health.* 2009, vol. 47, no. 6, pp. 589–602.



32. Skibniewski F. W., Dziuda Ł., Baran P. M., Krej M. K., Guzowski S., Piotrowski M. A., Truszczyński O. E. Preliminary Results of the LF/HF Ratio as an Indicator for Estimating Difficulty Level of Flight Tasks. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 2015, vol. 86, no. 6, pp. 518–523. DOI: <http://dx.doi.org/10.3357/AMHP.4087.2015>
33. Dimitriev D. A., Saperova E. V., Dimitriev A. D. State Anxiety and Nonlinear Dynamics of Heart Rate Variability in Students. *PLoS One*. 2016, vol. 11, no. 1, e0146131. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0146131>
34. Mylnikova I. V., Efimova N. V. The informativeness of indices of the heart rate variability for the identification of the adverse effects of environmental factors on the health of adolescent girls. *Hygiene and Sanitation*. 2015, vol. 94, no. 1, pp. 121–124. (In Russian)
35. Baevskiy R. M., Bersenev E. Yu., Orlov O. I., Ushakov I. B., Chernikova A.G. The problem of estimation of the organism adaptable opportunities under stressful influences. *Ross. Fiziol. Zh. Im. I. M. Sechenova*. 2012, vol. 98, no. 1, pp. 95–107. (In Russian)
36. Aizman R. I., Aizman N. I., Lebedev A. V., Rubanovich V. B., Trofimovich E. M., Turbinsky V. V. Methodology and methods of population health monitoring using loading tests and computer technologies. *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2015, no. 4, pp. 15–21. (In Russian)
37. Klimov V. M., Rubanovich V. B., Aizman R. I. Morphological and functional characteristics and physical preparedness of the first year and second year female students of technical university engaged in aerobics. *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin*. 2016, no. 1, pp. 109–120. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1601.10> (In Russian)
38. Pagani M., Lombardi F., Guzzetti S., Sandrone G., Rimoldi O., Malfatto G., Cerutti S., Malliani A. Power spectral density of heart rate variability as an index of sympatho-vagal interaction in normal and hypertensive subjects. *J. Hypertens. Suppl.* 1984, vol. 2, no. 3, pp. S383–S385.
39. Billman G. E. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Front Physiol.* 2013, vol. 4, article 26. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>
40. Elghozi J. L., Julien C. Sympathetic control of short-term heart rate variability and its pharmacological modulation. *Fundam. Clin. Pharmacol.* 2007, vol. 21, no. 4, pp. 337–347. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-8206.2007.00502.x>
41. Malpas S. C. Sympathetic nervous system overactivity and its role in the development of cardiovascular disease. *Physiol. Rev.* 2010, vol. 90, no. 2, pp. 513–557. DOI: <http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00007.2009>
42. Zaza A., Lombardi F. Autonomic indexes based on the analysis of heart rate variability: a view from the sinus node. *Cardiovasc. Res.* 2001, vol. 50, no. 3, pp. 434–442.
43. Pankova N. B. Functional tests for the assessment of the healthy people state using heart rate variability. *Ross. Fiziol. Zh. Im. I. M. Sechenova*. 2013, vol. 99, no. 6, pp. 682–696. (In Russian)
44. Reyes del Paso G. A., Langewitz W., Mulder L. J., van Roon A., Duschek S. The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*. 2013, vol. 50, no. 5, pp. 477–487. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12027>
45. Parati G. Arterial baroreflex control of heart rate: determining factors and methods to assess its spontaneous modulation. *J. Physiol.* 2005, vol. 565, no. 3, pp. 706–707. DOI: <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2005.086827>
46. Rydlewska A., Ponikowska B., Borodulin-Nadzieja L., Banasiak W., Jankowska E. A., Ponikowski P. Assessment of the functioning of autonomic nervous system in the context of cardiorespiratory reflex control. *Kardiol Pol.* 2010, vol. 68, no. 8, pp. 951–957. (In Polish)



This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).